

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

JC927 U.S. PTO
09/994659
11/28/01

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年12月28日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-402883

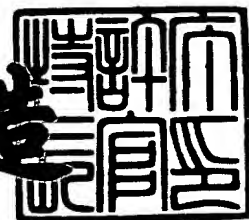
出 願 人
Applicant(s):

株式会社豊田中央研究所
豊田合成株式会社

2001年 8月17日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3072671

【書類名】 特許願

【整理番号】 P00121TT

【提出日】 平成12年12月28日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G02B 6/00

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1 番地の1 株
式会社豊田中央研究所内

【氏名】 各務 学

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1 番地の1 株
式会社豊田中央研究所内

【氏名】 米村 正寿

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1 番地の1 株
式会社豊田中央研究所内

【氏名】 山下 達弥

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4 1 番地の1 株
式会社豊田中央研究所内

【氏名】 伊藤 博

【発明者】

【住所又は居所】 愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1 番地 豊田合
成株式会社内

【氏名】 伊縫 幸利

【特許出願人】

【識別番号】 000003609

【氏名又は名称】 株式会社豊田中央研究所

【代表者】 高橋 理一

【特許出願人】

【識別番号】 000241463

【氏名又は名称】 豊田合成株式会社

【代表者】 堀籠 登喜雄

【代理人】

【識別番号】 100087723

【弁理士】

【氏名又は名称】 藤谷 修

【電話番号】 052-363-2558

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 007445

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9102995

【包括委任状番号】 0012134

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 自己形成光導波路の製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光硬化性樹脂中に微小径の光束を照射し硬化させることで屈折率の上昇した硬化樹脂部を連続形成する際、前記微小径の光束が前記硬化樹脂部に閉じ込められることにより前記光束の通過方向に略一定径とした前記硬化樹脂部を有する自己形成光導波路の製造方法において、

該自己形成光導波路が、予め設計された終点領域に到達するよう、予め設計された形成領域から外れた場合に前記微小径の光束が全反射により屈折するよう低屈折率構造物を前記予め設計された形成領域を囲んで配設することを特徴とする自己形成光導波路の製造方法。

【請求項 2】 前記終点領域が円状の領域であり、前記低屈折率構造物が前記円状の領域を上面とする円錐台の側面の内壁を形成することを特徴とする請求項 1 に記載の自己形成光導波路の製造方法。

【請求項 3】 前記終点領域を半径 a の円状とし、該半径 a の円の中心から終点領域に垂直に距離 b の位置からは少なくとも前記自己形成光導波路が直進するよう設計されているものとし、前記円錐台の高さを L_m 、略一定径の硬化樹脂部の屈折率を n_1 、低屈折率構造部の屈折率を n_m としたときに、前記円錐台の側壁の傾斜角 θ_m が次の式を充たすことを特徴とする請求項 2 に記載の自己形成光導波路の製造方法。

【数 1】

$$0 < \theta_m \leq \tan^{-1} \frac{\sqrt{(b+at)^2 - 4(a-bt+L_m t)L_m t} - b - at}{2L_m t}$$

$$t = \tan \theta_{\max} = \tan \left(\cos^{-1} \frac{n_m}{n_1} \right)$$

【請求項 4】 前記低屈折率構造物が、長軸を回転軸とした回転楕円体面の一部を形成し、前記終点領域が、前記回転楕円体の回転軸を長軸とする楕円断面の

一方の焦点を含み、他の焦点が、その位置からは少なくとも前記自己形成光導波路が直進するよう設計されていることを特徴とする請求項1に記載の自己形成光導波路の製造方法。

【請求項5】 空間に座標軸を取り、前記終点領域が点 $(0, b/2, 0)$ を中心とする y 軸に垂直な半径 a の円盤状とし、点 $(0, -b/2, 0)$ の位置からは少なくとも前記自己形成光導波路が直進するよう設計されているものとし、略一定径の硬化樹脂部の屈折率を n_1 、低屈折率構造物の屈折率を n_m としたときに、前記回転楕円体面が、 y 軸を長軸とする次の楕円

【数2】

$$\frac{x^2}{a_0^2} + \frac{y^2}{b_0^2} = 1, \quad z=0$$

$$a_0^2 = \frac{a^2 + a\sqrt{a^2 + b^2}}{2}$$

$$b_0 = \frac{a + \sqrt{a^2 + b^2}}{2}$$

を y 軸を回転軸として回転させたものであり、且つ低屈折率構造物の上記楕円上の点で次の式が成立することを特徴とする請求項4に記載の自己形成光導波路の製造方法。

【数3】

$$\cos \left\{ \tan^{-1} \frac{y + \frac{b}{2}}{x} - \tan^{-1} \left(-\frac{b_0^2 x}{a_0^2 y} \right) \right\} \leq \frac{n_m}{n_1}$$

【請求項6】 光硬化性樹脂中に微小径の光束を照射し硬化させることで屈折率の上昇した硬化樹脂部を連続形成する際、前記微小径の光束が前記硬化樹脂部に閉じ込められることにより前記光束の通過方向に略一定径とした前記硬化樹脂部を有する自己形成光導波路の製造方法において、

該自己形成光導波路が、予め設計された終点領域に到達するよう、予め設計さ

れた形成領域から外れた場合に前記微小径の光束が屈折するよう反射構造物を前記予め設計された形成領域を囲んで配設することを特徴とする自己形成光導波路の製造方法。

【請求項 7】 前記終点領域が円状の領域であり、前記反射構造物が前記円状の領域を上面とする円錐台の側面の内壁を形成することを特徴とする請求項 6 に記載の自己形成光導波路の製造方法。

【請求項 8】 前記終点領域 a を半径 a の円状とし、該半径 a の円の中心から終点領域に垂直に距離 b の位置からは少なくとも前記自己形成光導波路が直進するよう設計されているものとし、前記円錐台の高さを L_m としたときに、前記円錐台の側壁の傾斜角 θ_m が次の式を充たすことを特徴とする請求項 7 に記載の自己形成光導波路の製造方法。

【数 4】

$$0 < \theta_m \leq \tan^{-1} \left\{ \frac{1}{3L_m b} \left(\sqrt[3]{\frac{s_6}{2}} - as_3 - \sqrt[3]{\frac{2}{s_6}} \right) s_2 \right\}$$

$$s_1 = -16a^3 b^3 + 72ab^3 L_m^2 - 54a^3 L_m^3 - 54ab^2 L_m^3$$

$$s_2 = -4a^2 b^2 - 9a^2 L_m^2 + 3b^2 L_m^2$$

$$s_3 = 2b + 3L_m$$

$$s_4 = 2b - 3L_m$$

$$s_5 = 27ab^2 L_m^2 s_4 - 2a^3 s_3^3 + 9abL_m s_3 (4a^2 + bL_m)$$

$$s_6 = s_1 + \sqrt{4s_2^3 + s_5^2}$$

【請求項 9】 前記反射構造物が、長軸を回転軸とした回転楕円体面の一部を形成し、前記終点領域が、前記回転楕円体の回転軸を長軸とする楕円断面の一方の焦点を含み、他の焦点が、その位置からは少なくとも前記自己形成光導波路が直進するよう設計されていることを特徴とする請求項 6 に記載の自己形成光導波路の製造方法。

【請求項 10】 空間に座標軸を取り、前記終点領域が点 $(0, b/2, 0)$

を中心とする y 軸に垂直な半径 a の円盤状とし、点 $(0, -b/2, 0)$ の位置からは少なくとも前記自己形成光導波路が直進するように設計されているものとし、前記回転楕円体面が、 y 軸を長軸とする次の楕円

【数 5】

$$\frac{x^2}{a_0^2} + \frac{y^2}{b_0^2} = 1, \quad z = 0$$

$$a_0^2 = \frac{a^2 + a\sqrt{a^2 + b^2}}{2}$$

$$b_0 = \frac{a + \sqrt{a^2 + b^2}}{2}$$

を y 軸を回転軸として回転させたものであることを特徴とする請求項 9 に記載の自己形成光導波路の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光通信における安価で低損失な光インターコネクション、光分波器あるいは合波器に適用可能な自己形成光導波路の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、光ファイバ通信において、光ファイバと光電変換素子（半導体レーザー、発光ダイオード、フォトダイオード、アバランシェフォトダイオード）を効率良く結合するために光導波路デバイスを利用してハイブリッド集積を行う光インターコネクション技術が注目されている。例えば特開平 2 0 0 0 - 2 7 5 4 5 7 号公報記載のハイブリッド型導波路モジュールがある。これは光ファイバと光電変換素子とを光学的に結合するための光導波路回路が施された部材と、複数の光電変換素子と、光ファイバを基台上で高精度にハイブリッド集積する方式である。

【0003】

一方、本願発明者らにより、特開平2000-347043号公報記載の自己形成光導波路が開発されている。これは、光硬化性樹脂に微小径の光束を照射することで屈折率の高い硬化樹脂部が順次形成され、それがそのまま光導波路として使用できるものである。

【0004】

図8に上記公報記載の光導波路の製造方法の概略を示す。光ファイバ91、2つの異なる重合型により光重合する光硬化性樹脂921、922の混合液（光硬化性液状樹脂組成物）92、透明容器93を用意し、図8の（a）のように、樹脂A921及び樹脂B922を混合して混合液92を調製し、透明容器93に充填する。次に光ファイバ91の先端面912を混合液92に浸し、一定波長の光を光ファイバ91に供給する。すると、図8の（b）のように、光ファイバ91の先端面912から略円錐台状の硬化した樹脂9211が形成され、その後径が一定の略円柱状となって硬化部分9211が成長する（図8の（c））。硬化部分9211が所望の長さになったところで該波長の光の供給を止め、透明容器93の全周からより低波長の光（図で94）を照射し、透明容器93に残っていた混合液92を全て硬化させる（図8の（d））。

【0005】

硬化部分9211の屈折率は樹脂Aの硬化後屈折率に等しく、硬化部分923の屈折率は樹脂A、樹脂Bの各々の硬化後屈折率の中間に位置する。混合溶液92のうち樹脂Aのみ硬化させて屈折率の高い略円柱状の部分の長いコアを形成し、樹脂A、樹脂Bをどちらも硬化させて屈折率の低いクラッドを形成することにより、光導波路を形成することができる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、特開平2000-275457号公報記載のハイブリッド型導波路モジュールでは、サブミクロン単位での位置合わせが必要であり、軸合わせの自由度が高く、困難を極めていた。特に部品点数が多くなると、予め形状の固定されたもの同士の接続であると軸ずれが積算されてしまう上に、形状誤差のある部品があるとモジュール全体に影響を及ぼし、歩留まり低下を引き起こす。また、こ

れらはモジュール 1 個ずつアライメントを行わなければならない、組み立てコストも非常に大きなものとなっていた。

【0 0 0 7】

また、本願発明者らによる特開平 2 0 0 0 - 3 4 7 0 4 3 号公報記載のものであるが、光導波路は自己形成されるものの、配置された光学部品の精度が自己形成される光導波路の位置を決めることとなり、配置された光学部品の精度が悪ければ、光導波路が所望の位置に形成されず、例えば配置された光電変換素子に光導波路が到達しない可能性があった。即ち図 9 の (a) に示すように、光ファイバ 9 1 の先端が微妙に角度がずれると光電変換素子 9 5 (所望の終点領域) に光導波路 9 2 1 1 が到達しない。また、図 9 の (b) に示すように、ハーフミラー 9 6 1、9 6 2、反射ミラー 9 6 3 を配設して分岐点及び屈曲点を設けようとしても、これらのミラー 9 6 1、9 6 2、9 6 3 のアライメントが正確でないと、光電変換素子 9 5 a、9 5 b、9 5 c (所望の終点領域) に光導波路 9 2 1 1 a、9 2 1 1 b、9 2 1 1 c が到達しない。

【0 0 0 8】

本発明は上記の課題を解決するために成されたものであり、その目的は、自己形成光導波路の製造において、光導波路が形成される方向が所望の方向からずれた場合でも所望の終点領域に光導波路が形成されるようにすることである。

【0 0 0 9】

【課題を解決するための手段】

上記の課題を解決するため、請求項 1 に記載の手段によれば、光硬化性樹脂中に微小径の光束を照射し硬化させることで屈折率の上昇した硬化樹脂部を連続形成する際、微小径の光束が硬化樹脂部に閉じ込められることにより光束の通過方向に略一定径とした硬化樹脂部を有する自己形成光導波路の製造方法において、該自己形成光導波路が、予め設計された終点領域に到達するよう、予め設計された形成領域から外れた場合に微小径の光束が全反射により屈折するよう低屈折率構造物を予め設計された形成領域を囲んで配設することを特徴とする。

【0 0 1 0】

また、請求項 2 に記載の手段によれば、請求項 1 に記載の自己形成光導波路の

製造方法において、終点領域が円状の領域であり、低屈折率構造物が円状の領域を上面とする円錐台の側面の内壁を形成することを特徴とする。

【0 0 1 1】

また、請求項 3 に記載の手段によれば、請求項 2 に記載の自己形成光導波路の製造方法において、終点領域を半径 a の円状とし、該半径 a の円の中心から終点領域に垂直に距離 b の位置からは少なくとも自己形成光導波路が直進するよう設計されているものとし、円錐台の高さを L 、略一定径の硬化樹脂部の屈折率を n_1 、低屈折率構造部の屈折率を n_m としたときに、円錐台の側壁の傾斜角 θ_m が次の式を満たすことを特徴とする。

【数 6】

$$0 < \theta_m \leq \tan^{-1} \frac{\sqrt{(b + at)^2 - 4(a - bt + L_m t)L_m t} - b - at}{2L_m t}$$

$$t = \tan \theta_{\max} = \tan \left(\cos^{-1} \frac{n_m}{n_1} \right)$$

【0 0 1 2】

また、請求項 4 に記載の手段によれば、請求項 1 に記載の自己形成光導波路の製造方法において、低屈折率構造物が、長軸を回転軸とした回転楕円体面の一部を形成し、終点領域が、回転楕円体の回転軸を長軸とする楕円断面の一方の焦点を含み、他の焦点が、その位置からは少なくとも自己形成光導波路が直進するよう設計されていることを特徴とする。

【0 0 1 3】

また、請求項 5 に記載の手段によれば、請求項 4 に記載の自己形成光導波路の製造方法において、空間に座標軸を取り、終点領域が点 $(0, b/2, 0)$ を中心とする y 軸に垂直な半径 a の円盤状とし、点 $(0, -b/2, 0)$ の位置からは少なくとも自己形成光導波路が直進するよう設計されているものとし、略一定径の硬化樹脂部の屈折率を n_1 、低屈折率構造物の屈折率を n_m としたときに、前記回転楕円体面が、 y 軸を長軸とする次の楕円

【数 7】

$$\frac{x^2}{a_0^2} + \frac{y^2}{b_0^2} = 1, \quad z=0$$

$$a_0^2 = \frac{a^2 + a\sqrt{a^2 + b^2}}{2}$$

$$b_0^2 = \frac{a + \sqrt{a^2 + b^2}}{2}$$

を y 軸を回転軸として回転させたものであり、且つ低屈折率構造物の上記楕円上の点で次の式が成立することを特徴とする。

【数 8】

$$\cos \left\{ \tan^{-1} \frac{y + \frac{b}{2}}{x} - \tan^{-1} \left(-\frac{b_0^2 x}{a_0^2 y} \right) \right\} \leq \frac{n_m}{n_1}$$

【0014】

また、請求項 6 に記載の手段によれば、光硬化性樹脂中に微小径の光束を照射し硬化させることで屈折率の上昇した硬化樹脂部を連続形成する際、微小径の光束が硬化樹脂部に閉じ込められることにより光束の通過方向に略一定径とした硬化樹脂部を有する自己形成光導波路の製造方法において、該自己形成光導波路が、予め設計された終点領域に到達するよう、予め設計された形成領域から外れた場合に微小径の光束が反射により屈折するよう例えば金属膜などによる反射構造物を予め設計された形成領域を囲んで配設することを特徴とする。

【0015】

また、請求項 7 に記載の手段によれば、請求項 6 に記載の自己形成光導波路の製造方法において、終点領域が円状の領域であり、反射構造物が円状の領域を上面とする円錐台の側面の内壁を形成することを特徴とする。

【0016】

また、請求項 8 に記載の手段によれば、請求項 7 に記載の自己形成光導波路の製造方法において、終点領域 a を半径 a の円状とし、該半径 a の円の中心から終点領域に垂直に距離 b の位置からは少なくとも自己形成光導波路が直進するように設計されているものとし、円錐台の高さを L としたときに、円錐台の側壁の傾斜角 θ_m が次の式を充たすことを特徴とする。

【数 9】

$$0 < \theta_m \leq \tan^{-1} \left\{ \frac{1}{3L_m b} \left(3\sqrt{\frac{s_6}{2}} - as_3 - 3\sqrt{\frac{2}{s_6}} \right) s_2 \right\}$$

$$s_1 = -16a^3 b^3 + 72ab^3 L_m^2 - 54a^3 L_m^3 - 54ab^2 L_m^3$$

$$s_2 = -4a^2 b^2 - 9a^2 L_m^2 + 3b^2 L_m^2$$

$$s_3 = 2b + 3L_m$$

$$s_4 = 2b - 3L_m$$

$$s_5 = 27ab^2 L_m^2 s_4 - 2a^3 s_3^3 + 9abL_m s_3 (4a^2 + bL_m)$$

$$s_6 = s_1 + \sqrt{4s_2^3 + s_5^2}$$

【0017】

また、請求項 9 に記載の手段によれば、請求項 6 に記載の自己形成光導波路の製造方法において、反射構造物が、長軸を回転軸とした回転楕円体面の一部を形成し、終点領域が、回転楕円体の回転軸を長軸とする楕円断面の一方の焦点を含み、他の焦点が、その位置からは少なくとも自己形成光導波路が直進するように設計されていることを特徴とする。

【0018】

また、請求項 10 に記載の手段によれば、請求項 9 に記載の自己形成光導波路の製造方法において、空間に座標軸を取り、終点領域が点 $(0, b/2, 0)$ を中心とする y 軸に垂直な半径 a の円盤状とし、点 $(0, -b/2, 0)$ の位置からは少なくとも前記自己形成光導波路が直進するように設計されているものとし、前記回転楕円体面が、y 軸を長軸とする次の楕円

【数 10】

$$\frac{x^2}{a_0^2} + \frac{y^2}{b_0^2} = 1, \quad z=0$$

$$a_0^2 = \frac{a^2 + a\sqrt{a^2 + b^2}}{2}$$

$$b_0^2 = \frac{a + \sqrt{a^2 + b^2}}{2}$$

を y 軸を回転軸として回転させたものであることを特徴とする。

【0019】

【作用及び発明の効果】

本発明者らの特開平 2000-347043 号公報記載の技術は、自己形成導波路が光の進行方向に沿って自動的に成長していくものである。このとき、光の進行方向が予め設計された終点領域に向かっていなくても、光の反射を利用してその進行方向を終点領域に向かうよう修正する構造物を、予め設計された自己形成導波路の形成領域を囲んで配設することで、進行方向を該終点領域に変更させることができる。このとき、構造物が光導波路の屈折率より低いか、又はいかなる角度からも反射するよう鏡面を形成すれば目的が達成される（請求項 1、請求項 6）。そのような構造物は、終点領域を上面とする円錐台状にすると容易である（請求項 2、請求項 7）。

【0020】

また、その位置からは少なくとも自己形成導波路が直進するよう設計された点、即ちその位置からは設計上、反射、収束又は分散することのない点と、終点領域の中心とを 2 焦点とする楕円を、長軸を軸として回転させた回転楕円体面を用いれば、前者の点（第 1 の焦点）から進む光は回転楕円体面で反射し後者の点（第 2 の焦点）に向かうので、理想的な構造物とすることができる（請求項 4、請求項 9）。

【0021】

以下、実施例の欄にて、請求項 3、請求項 5、請求項 8 及び請求項 10 の条件

を有する構造体の作用効果を示す。

【0022】

【発明の実施の形態】

図1の(a)は本願を適用した光モジュールの構成を示す断面図である。尚、斜線を施していない部分も空隙ではない。Sで示した部分が本願発明に係る構造体であり、拡大図を図1の(b)に示す。屈折率 n_m の透明容器3に構造体Sを設け、ハーフミラー61、62、反射ミラー63を設けて特開平2000-347043号公報記載のように光ファイバ1から光照射で混合樹脂溶液から光伝送路211を形成し、分岐211a、211b、及び211cを形成する。この際、分岐211a、211b、及び211cが所望の光電変換素子5a、5b、5cに到達するよう、各々計3箇所に構造体Sを設けておく。

【0023】

図2の(a)のように、予め設計された方角(2本の点線の領域)からずれて光導波路WG(硬化樹脂部)が成長しても、図2の(b)のように、構造体部分で反射されれば、その後の光導波路WG(硬化樹脂部)が成長する方向は図2の(c)の通り、予め設計された方角側(2本の点線の領域)に修正されることとなる。構造体部分で反射されるためには、例えば金属膜を形成してミラーとする他、構造体の構成材料の屈折率 n_m を光導波路WGの屈折率 n_1 より小さくし、且つ入射角度が全反射条件を充たすよう壁面の傾斜を構成すれば良い。

【0024】

〔第1の構造体例(請求項3)〕

構造体の構成材料の屈折率 n_m を光導波路WGの屈折率 n_1 より小さくし、且つ入射角度が全反射条件を充たすよう壁面の傾斜を構成する場合として、終点領域が半径aの円状で、その中心O'から円に垂直に距離bの点Oから光が入射するよう設計されており、構造体が終点領域を上面とする円錐台の側面を壁面とする場合を考える(図3)。円錐台の高さを L_m 、設計された入射光方向と壁面の成す角を θ_m とする。

【0025】

今、円錐台底面の周上の点Pに、点Oから光が入射することを考える。OO'

とOPとの成す角を θ_1 とすると、円錐台壁面とOPの成す角は $\theta_1 + \theta_m$ である。
点Pの線分OO'との距離を2通りに表してこれらを等しいとおくと、次のとおりである。

【数 1 1】

$$(b - L_m) \tan \theta_1 = a + L_m \tan \theta_m$$

【0026】

一方、OPを通る光が屈折率 n_1 の光導波路を通った場合、屈折率 n_m の構造体の点Pで全反射するための条件は、次のとおりである。

【数 1 2】

$$\theta_1 + \theta_m \leq \cos^{-1} \frac{n_m}{n_1} = \theta_{\max}$$

【0027】

これらから次の式が成立する。

【数 1 3】

$$\tan^{-1} \left(\frac{a + L_m \tan \theta_m}{b - L_m} \right) + \theta_m \leq \theta_{\max}$$

【0028】

これを解くと、次の不等式となる。

【数 1 4】

$$L_m \tan \theta_{\max} \tan^2 \theta_m + (b + a \tan \theta_{\max}) \tan \theta_m - (b - L_m) \tan \theta_{\max} + a \leq 0$$

【0029】

側壁の傾斜角 θ_m は、次の式を充たすことで、全反射条件を充たす。

【数 15】

$$0 < \theta_m \leq \tan^{-1} \frac{\sqrt{(b+at)^2 - 4(a-bt+L_m t)L_m t} - b - at}{2L_m t}$$

$$t = \tan \theta_{\max} = \tan \left(\cos^{-1} \frac{n_m}{n_1} \right)$$

【0030】

円錐台底面の周上の点P以外の円錐台側壁の点に点Oから入射した場合、その入射角が点Pにおける入射角より小さいことは明らかである。よって、上記数15が成立することで、円錐台側壁の任意の点において、全反射条件を満たす（請求項3）。

【0031】

図4に、数15の左辺（ θ_m の最大値）を、屈折率比 n_m/n_1 とともにシミュレーションした図を示す。尚、 $a=0.15\text{mm}$ 、 $L_m=1\text{mm}$ 、 $b=4\text{mm}$ とした。このシミュレーションでは屈折率比 n_m/n_1 が0.96で、円錐台側壁の傾斜角は10度以下とする必要がある。また、図5に、 $a=0.15\text{mm}$ 、 $b=4\text{mm}$ とし、屈折率比 n_m/n_1 を0.93、0.95、0.97と変化させて、 L_m と数15の左辺（ θ_m の最大値）との関係を示す。

【0032】

〔第2の構造体例（請求項8）〕

第1の構造体で、円錐台の側壁に金属で反射膜を形成した場合は、次のような条件を設けることができる。即ち、1回だけ反射することで半径aの終点領域に達するよう条件設定する。

【0033】

やはり図3において、点Oから入射した光が円錐台の底面の円周上の点Pに到達し、反射して終点領域の外周上の点Qに到達したとする。円錐台底面の周上の点P以外の円錐台側壁の点に点Oから入射した場合、反射角は小さくなるので、2度目の反射を起こすことなく終点領域内に到達することは容易に理解できる。

【0034】

このような条件を充たすためには、次の関係が成立すれば良い。

【数16】

$$L_m \tan(\theta_1 + 2\theta_m) \leq L_m \tan \theta_m + 2a$$

【0035】

数11を用いてこれを展開すると、次のとおりとなる。

【数17】

$$\begin{aligned} b \tan^3 \theta_m + \left(\frac{2ab}{L_m} + 3a \right) \tan^2 \theta_m \\ + \left(b + \frac{4a^2}{L_m} \right) \tan \theta_m + \left(3a - \frac{2ab}{L_m} \right) \leq 0 \end{aligned}$$

【0036】

数17は1実解を有する。これが正ならば（ $3L > 2b$ ならば実解は負）、その解が θ_m の最大値である。実際 θ_m の最大値は次のように求められるので、 $a = 0.15\text{mm}$ 、 $b = 4\text{mm}$ とし、 L_m と数17の解（ θ_m の最大値）との関係を図6示す（請求項8）。

【数 18】

$$0 < \theta_m \leq \tan^{-1} \left\{ \frac{1}{3L_m b} \left(\sqrt[3]{\frac{s_6}{2}} - a s_3 - \sqrt[3]{\frac{2}{s_6}} \right) s_2 \right\}$$

$$s_1 = -16a^3 b^3 + 72ab^3 L_m^2 - 54a^3 L_m^3 - 54ab^2 L_m^3$$

$$s_2 = -4a^2 b^2 - 9a^2 L_m^2 + 3b^2 L_m^2$$

$$s_3 = 2b + 3L_m$$

$$s_4 = 2b - 3L_m$$

$$s_5 = 27ab^2 L_m^2 s_4 - 2a^3 s_3^3 + 9abL_m s_3 (4a^2 + bL_m)$$

$$s_6 = s_1 + \sqrt{4s_2^3 + s_5^2}$$

【0037】

【第3の構造体例（請求項10）】

点O（光の発射点）と点O'（終点領域の中心）を焦点とする楕円を、長軸を中心として回転させた回転楕円体面を有する構造体で、壁面に金属膜を有するものは、点Oからの光を悉く点O'に向け反射する（図7参照）。2つの焦点点O（光の発射点）と点O'（終点領域の中心）を直交座標（0, -b/2, 0）と（0, b/2, 0）とし、点（a, b/2, 0）を通る楕円（図7参照）は次の式で示される。

【数 19】

$$\frac{x^2}{a_0^2} + \frac{y^2}{b_0^2} = 1, \quad z = 0$$

$$a_0^2 = \frac{a^2 + a\sqrt{a^2 + b^2}}{2}$$

$$b_0^2 = \frac{a + \sqrt{a^2 + b^2}}{2}$$

【0038】

数 19 を充たす楕円を y 軸で回転させた回転楕円面は、一方の焦点 $(0, -b/2, 0)$ から回転楕円面に入射する光を反射して他方の焦点 $(0, b/2, 0)$ (終点領域の中心) に導く (請求項 10)。

【0039】

〔第 4 の構造体例 (請求項 5)〕

第 3 の構造体の回転楕円体面を有し、第 1 の構造体のように金属膜を有しない屈折率による全反射条件を求める。数 19 の楕円上の座標 X $(x, y, 0)$ における接線の角度 (x 軸の正方向基準、反時計回り) は次のとおりである (図 7 参照)。

【数 20】

$$\tan^{-1} \left(-\frac{b_0^2 x}{a_0^2 y} \right)$$

【0040】

また、ベクトル OX の x 軸の正方向と成す角度は次のとおりである。

【数 21】

$$\tan^{-1} \frac{y + \frac{b}{2}}{x}$$

【0041】

これらから、接線とベクトル OX の成す角 (反時計回り) が、スネルの法則を充たすようにするためには次のとおりである (請求項 5)。

【数 2 2】

$$\cos \left\{ \tan^{-1} \frac{y + \frac{b}{2}}{x} - \tan^{-1} \left(-\frac{b_0^2 x}{a_0^2 y} \right) \right\} \leq \frac{n_m}{n_1}$$

【0042】

以上の実施例では、簡単のため一点からの光路を以て本願発明の構造体を説明したが、本願の自己形成光導波路は一定の径を有しているのので、それに応じ、設計すれば良い。即ち、一定の領域からの光束に対し、終点領域に達するよう構造体を設計することは何ら困難なことではない。光の照射点Oは、光ファイバ先端面或いはミラーの設計点等、そこから自己形成光導波路が障害無しに光電変換素子等を配置した終点領域に達する着目点とすればよい。

【0043】

また、上記実施例では円錐台と回転楕円体面を以て本願実施例を説明したが、本願の構造体は任意の多面体状壁面又は任意の曲面から成る壁面にて構成できる。その際、図7からも明らかなように、終点領域から着目点に向かって構造体が広がるのみでなく、狭まる部分を有する曲面また多面体面でも良く、場合によっては全体又は一部が逆円錐台形状でも本願発明を実施できる。また、反射回数は1回に限られず、複数回でも良い。

【図面の簡単な説明】

【図1】

(a) は、本願を適用した光伝送路の構造を示す断面図、(b) は構造体Sの拡大図。

【図2】

本願を適用した自己形成光導波路の成長の様子を示す段階図。

【図3】

円錐台の側面を壁面とする第1又は第2構造体の設計図。

【図4】

第 1 の構造体例におけるシミュレーションのグラフ図。

【図 5】

第 1 の構造体例における別のシミュレーションのグラフ図。

【図 6】

第 2 の構造体例におけるシミュレーションのグラフ図。

【図 7】

回転楕円体面を壁面とする第 3 又は第 4 構造体の設計図。

【図 8】

従来の特開平 2 0 0 0 - 3 4 7 0 4 3 記載の光伝送路の製造方法を示す工程図

【図 9】

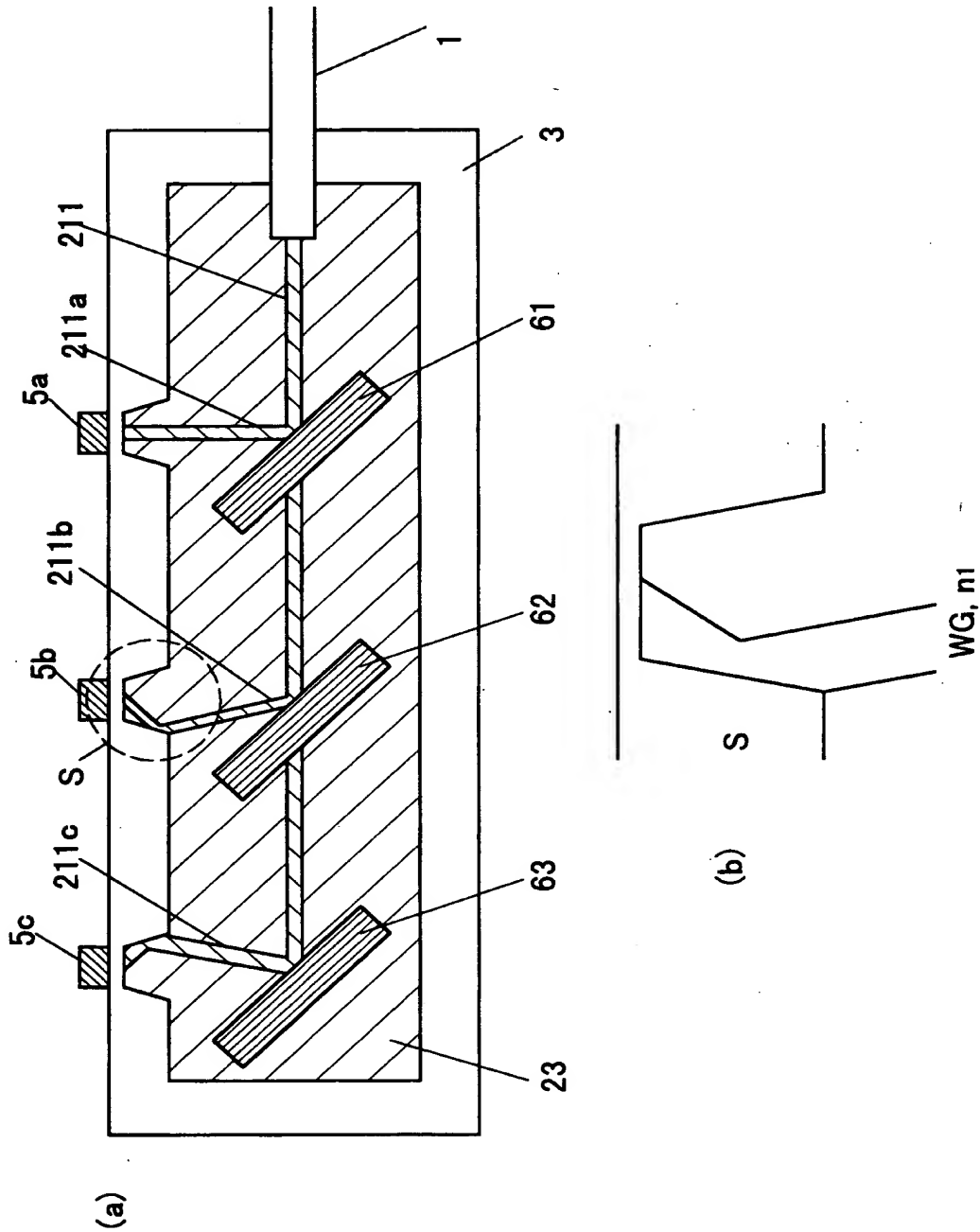
従来 of 自己形成導波路が軸ずれを起こした様子を示す断面図。

【符号の説明】

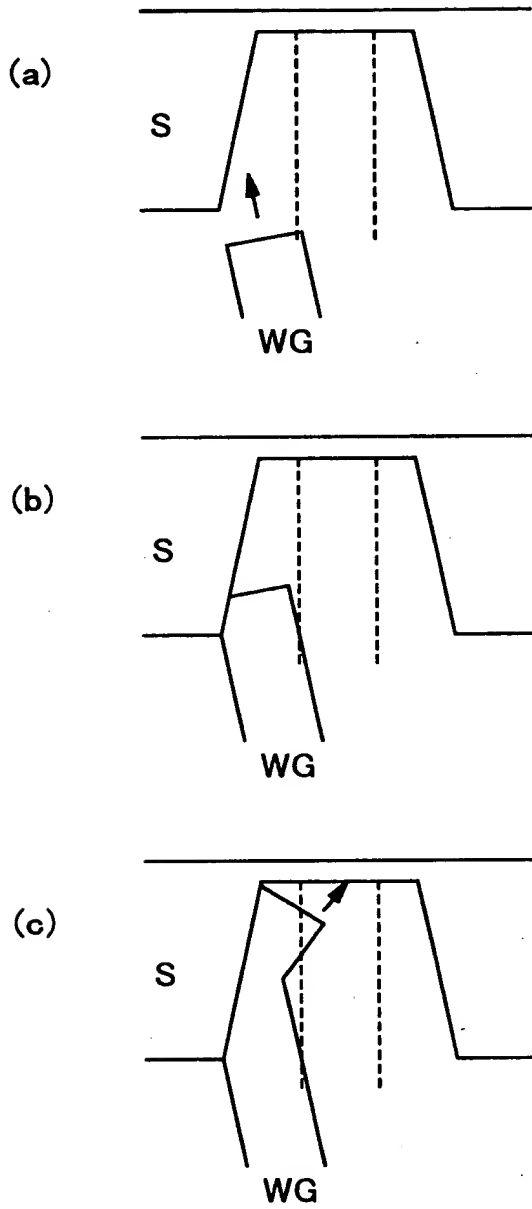
- 1 光ファイバ
- 2 1 1 光導波路
- 2 1 1 a ~ c 光導波路の分岐
- 2 3 光導波路より屈折率の低いクラッド部分
- 3 透明容器
- 5 a ~ c 光電変換素子
- 6 1、6 2 ハーフミラー
- 6 3 反射ミラー
- WG 自己形成光導波路
- a 円状の終点領域の半径
- b 着目点から終点領域中心までの距離
- S 構造体

【書類名】 図面

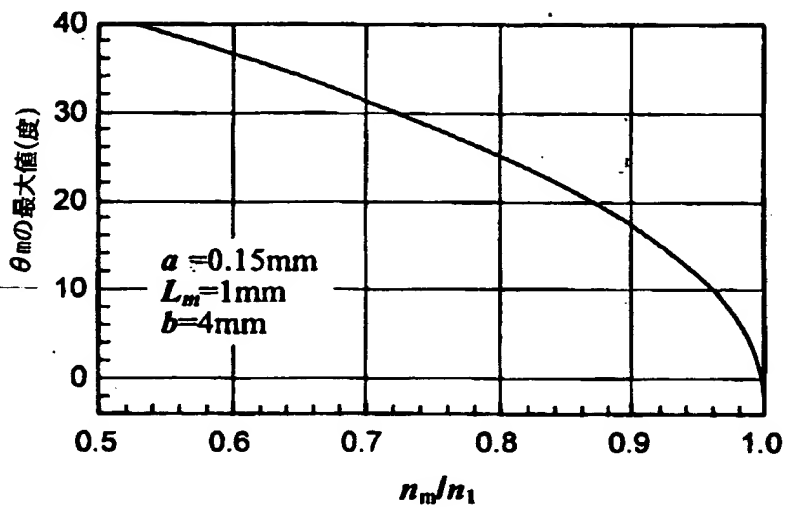
【図 1】



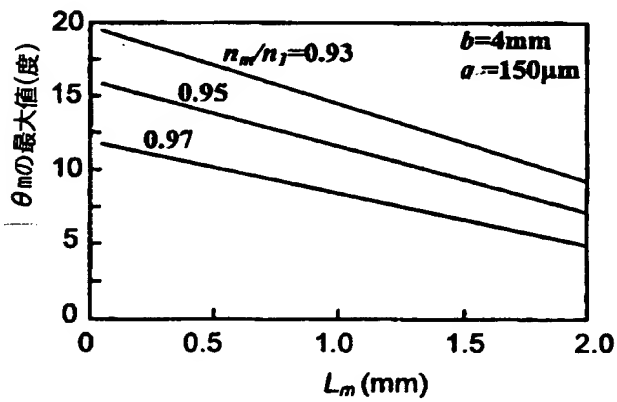
【図 2】



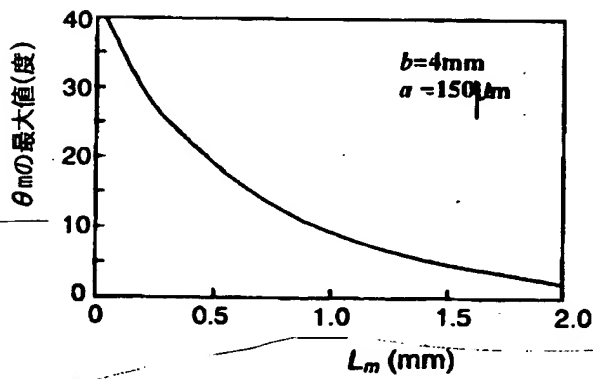
【図 4】



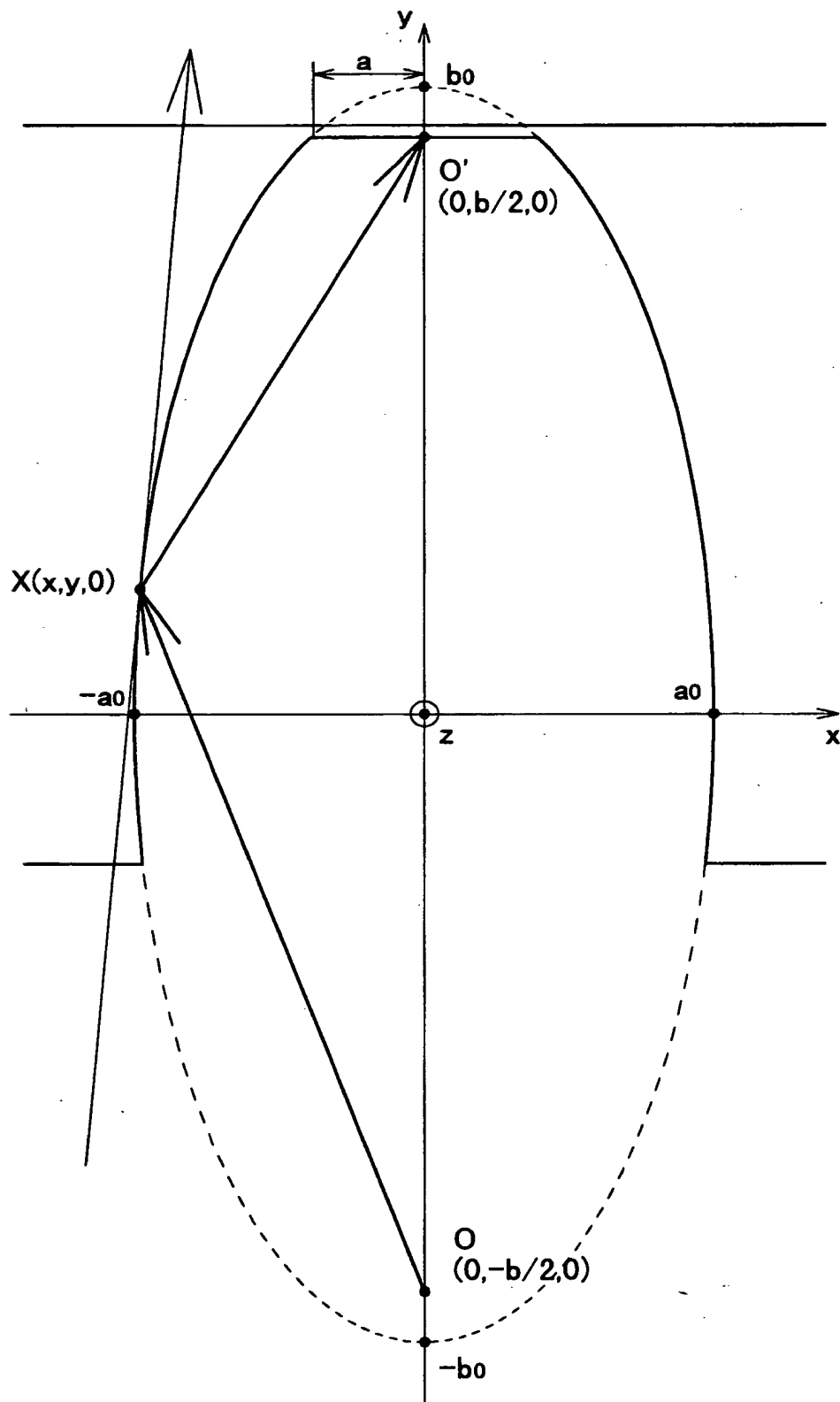
【図 5】



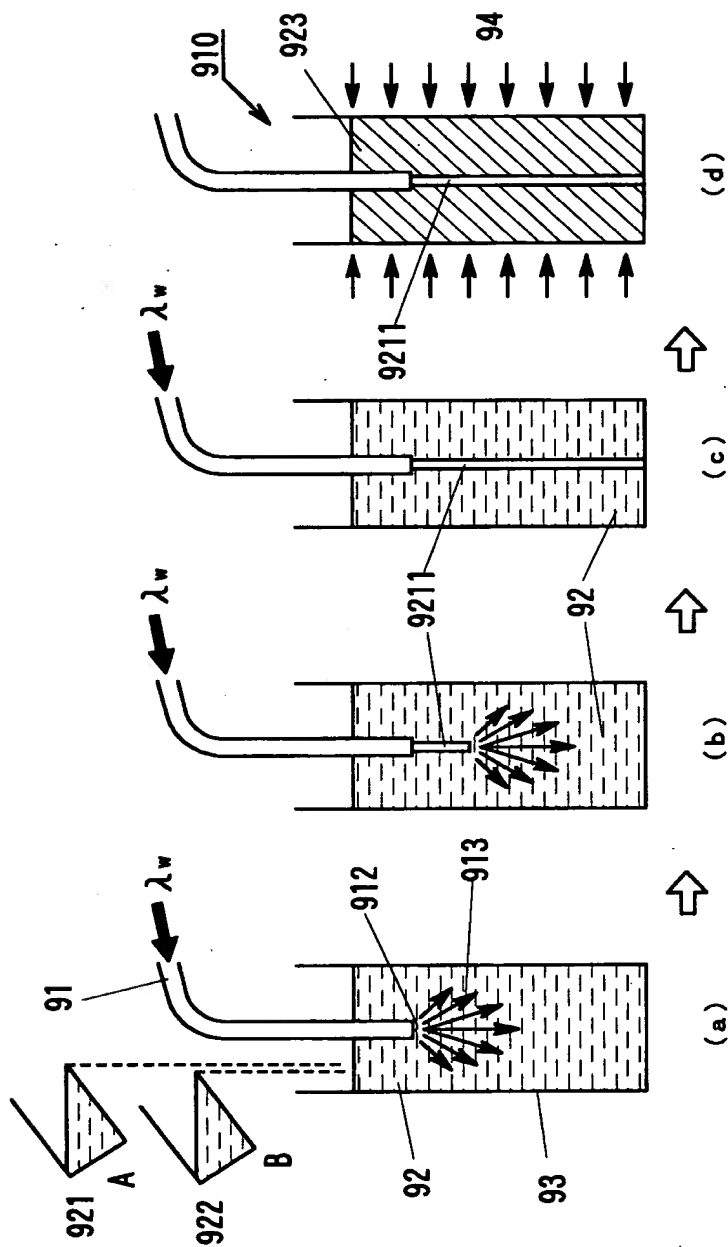
【図 6】



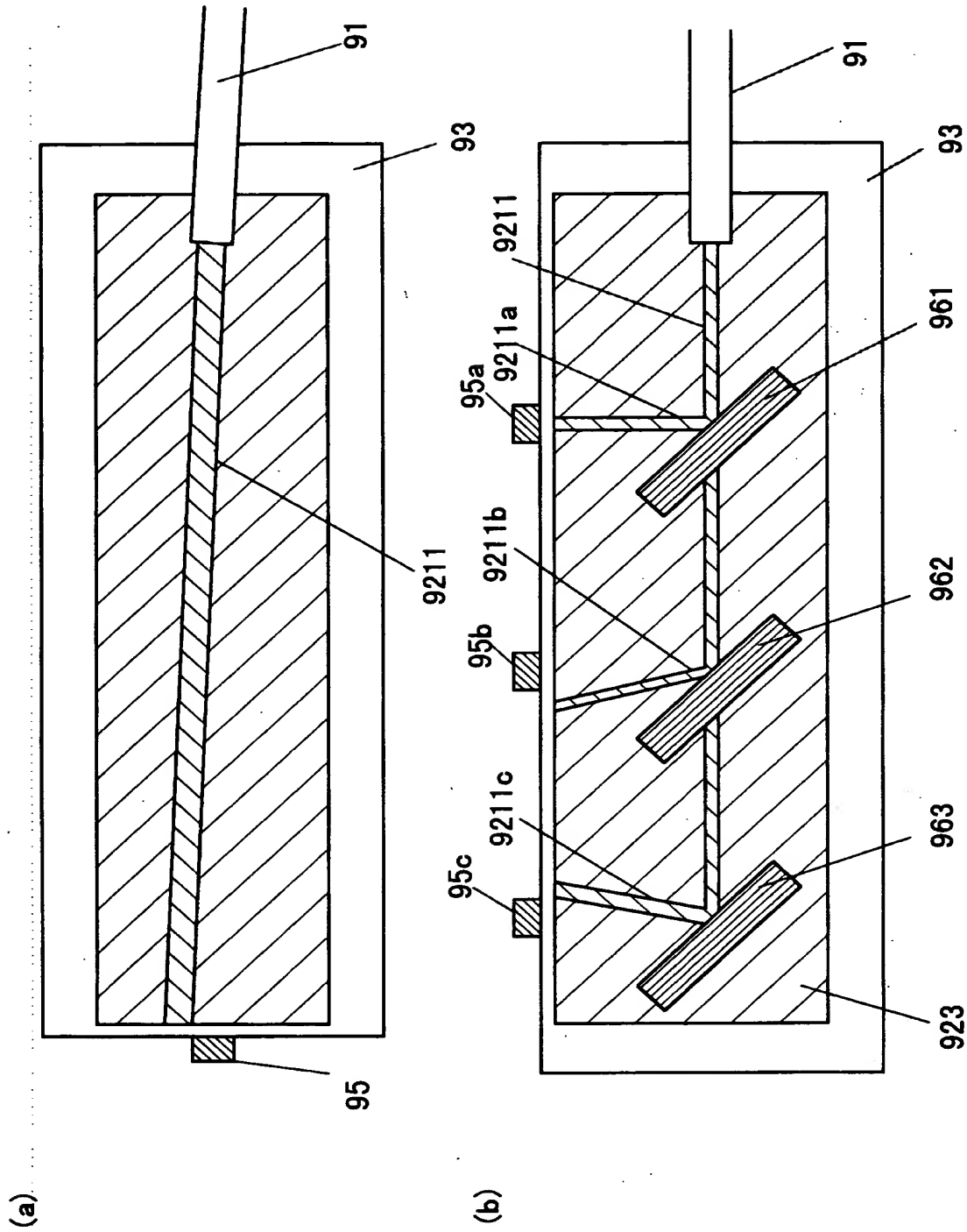
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 自己形成光導波路形成の際の軸ずれの解消。

【解決手段】 光硬化性樹脂中に微小径の光束を照射し硬化させることで屈折率の上昇した硬化樹脂部 2 を連続形成する際、微小径の光束が硬化樹脂部 2 に閉じ込められることにより光束の通過方向に略一定径とした硬化樹脂部 2 を有する自己形成光導波路を製造する際、自己形成光導波路が、予め設計された終点領域に到達するよう、予め設計された形成領域から外れた場合に微小径の光束が屈折するよう低屈折率構造物 S を予め設計された形成領域を囲んで配設する。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000003609]

1. 変更年月日 1990年 9月 6日

[変更理由] 新規登録

住 所 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番地の1

氏 名 株式会社豊田中央研究所

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000241463]

1. 変更年月日 1990年 8月 9日

[変更理由] 新規登録

住 所 愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1番地

氏 名 豊田合成株式会社